

Nouvelle conception de filtre coupe-bande planaire basée sur une technique de symétrisation

Mathieu Cariou^{1,2,3}, Stéphane Cadiou^{1,2}, Benjamin Potelon^{1,2},
Cédric Quendo^{1,2}, Eric Rius^{1,2}, Jean-François Favenne^{1,2},
Rémi Ségalen³, Françoise Mahé³

¹Université Européenne de Bretagne, France

²Université de Brest CNRS UMR 3192 Lab-STICC, 6 avenue Le Gorgeu, CS 93837, 29238 Brest cedex 3

³Thales Systèmes Aéroportés, 10, avenue l'ère DFL, CS 93801, 29238 Brest cedex 3
mathieu.cariou@univ-brest.fr : mathieu.cariou

Résumé

Ce papier traite de la conception de filtres planaires coupe-bande réalisés en technologie microruban et basés sur des lignes couplées court-circuitées. Nous proposons ici une technique originale de symétrisation du masque. Symétriser le masque permet d'adapter simultanément les paramètres S11 et S22, ce qui s'avère utile pour adapter un filtre coupe-bande sur une large bande passante. En outre, cela réduit le nombre de paramètres d'optimisation (-50%), et, par conséquent, le temps d'optimisation. Cette technique de symétrisation est appliquée ici à un filtre d'ordre 7 en bande X conçu et fabriqué sur alumine. Les mesures sur une large bande de fréquences sont également présentées.

1. Introduction

Les lignes couplées en L ou court-circuitées constituent certaines des topologies classiquement utilisées pour implémenter des filtres coupe-bandes à bande rejetée étroite [1-6]. Illustrée à la Figure 1, l'implémentation des lignes couplées court-circuitées est intrinsèquement asymétrique en raison des vias placés à l'une des extrémités des résonateurs.

Cette asymétrie a plusieurs conséquences. D'une part, les paramètres S11 et S22 ne sont pas identiques (Figure 2). Il est donc nécessaire d'optimiser conjointement S11 et S22 dans le but d'améliorer le paramètre de transmission S21. Ceci peut prendre du temps, en particulier lorsque la bande passante à contrôler est large. D'autre part, les dimensions de tous les résonateurs sont réglées séparément pendant la phase d'optimisation électromagnétique du filtre, ce qui amène le concepteur à manier de nombreuses variables.

L'objectif de ce papier est de proposer une solution pour remédier à ces deux ecueils.

Dans ce but, une technique de symétrisation est présentée, celle-ci permet non seulement d'adapter S11 et S22 simultanément, mais aussi de réduire de moitié le nombre de paramètres à optimiser. La symétrisation de la synthèse classique des filtres coupe-bandes à ligne couplées court-circuitées [7] est présentée dans la section 2, la conception, la réalisation et la mesure d'un filtre d'ordre 7 viennent illustrer cette technique de symétrisation.



Figure 1. Masque asymétrique d'un filtre coupe-bande

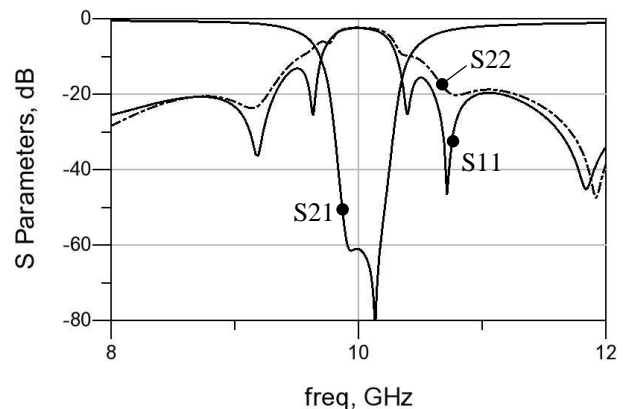


Figure 2. Simulation EM d'un filtre d'ordre 7 asymétrique

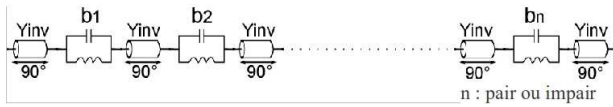


Figure 3. Prototype général d'un filtre coupe-bande avec des résonateurs parallèles et des inverseurs quart d'onde.



Figure 4. Equivalence entre éléments distribués et lignes couplées court-circuités.

2. Conception et fabrication d'un filtre symétrique d'ordre impair

2.a. Synthèse

La structure étudiée est basée sur la synthèse générale des filtres coupe-bandes décrite dans [7]. Comme illustré à la Figure 3, les résonateurs parallèles sont séparés par l'intermédiaire d'inverseurs d'admittance.

Dans le but d'implémenter le filtre en technologie planaire, il est nécessaire d'effectuer la transformation présentée à la Figure 4. Les relations mathématiques liant b , Y_{inv} , Zoe et Zoo sont décrites dans [7] et peuvent être exprimées par les relations suivantes :

$$\frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{b} = \frac{(Zoe - Zoo)^2}{2(Zoe + Zoo)} \quad (1)$$

$$\frac{1}{Y_{inv}} = \frac{2 \cdot Zoe \cdot Zoo}{2(Zoe + Zoo)} \quad (2)$$

b est le paramètre de pente (en admittance) d'un résonateur, Y_{inv} est l'admittance caractéristique des inverseurs. Zoe et Zoo sont respectivement les impédances caractéristiques des modes pair et impair des résonateurs couplés. Malheureusement, comme expliqué en introduction, l'implémentation physique des lignes couplées court-circuitées génère un masque asymétrique.

La technique présentée ici consiste à modifier l'élément central du prototype initial. Comme le montre la Figure 5(a) et (b), le résonateur parallèle central est alors divisé en deux résonateurs parallèles connectés en série. Ces deux nouveaux résonateurs ont la même fréquence de résonance que le résonateur initial. b étant le paramètre de pente du résonateur L-C initial et b' celui des deux nouveaux résonateurs L-C introduits, nous avons $b' = 2b$.

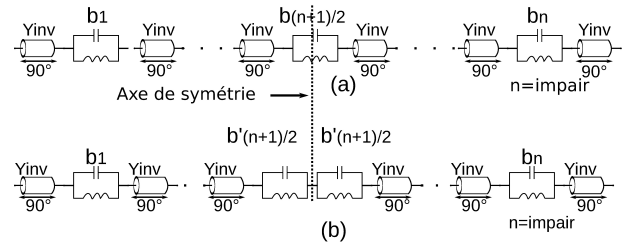


Figure 5. (a) prototype général d'un filtre coupe-bande d'ordre impair ; (b) prototype d'un filtre coupe-bande d'ordre impair pour une implémentation symétrisée

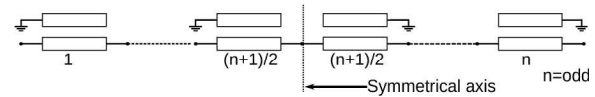


Figure 6. Représentation d'un filtre symétrique à résonateurs couplés d'ordre impair.

Ensuite, en appliquant l'équivalence présentée à la Figure 4 au nouveau prototype de la Figure 5 (b), la nouvelle implémentation physique est symétrique. Ceci est illustré Figure 6.

2.b. Exemple de conception

Dans le but de valider ce concept de symétrisation du masque, un filtre coupe-bande d'ordre 7 a été fabriqué en technologie microruban. Le substrat choisi est une céramique de permittivité diélectrique relative de valeur 9,6 et d'épaisseur 254 μm présentant une tangente de perte diélectrique de $3e-4$.

Nous avons choisi de travailler avec une fréquence centrale du filtre de 10 GHz et une bande rejetée relative à -3dB de 12 %. Les inverseurs d'admittance ont été fixés à 0,02S. Les paramètres de pente ainsi que les impédances caractéristiques paires et impaires des lignes couplées court-circuitées ont été calculés grâce aux équations décrites dans [7]. Les dimensions obtenues en appliquant les relations (1) et (2), sont récapitulées dans le Tableau 1.

Résonateur	1 et 7	2 et 6	3 et 5	4 (4')
b (b')	0,209	0,12	0,095	0,102 (0,204)
Z_{oo} (Ω)	39,54	37,29	36,33	39,45
Z_{oe} (Ω)	67,97	75,82	80,14	68,24

Tableau 1. Valeurs électriques des résonateurs du filtre d'ordre 7

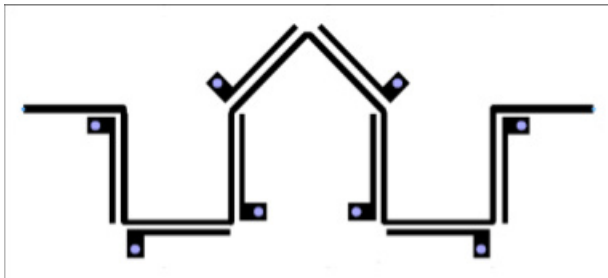


Figure 7. Masque du filtre coupe-bande symétrique d'ordre 7

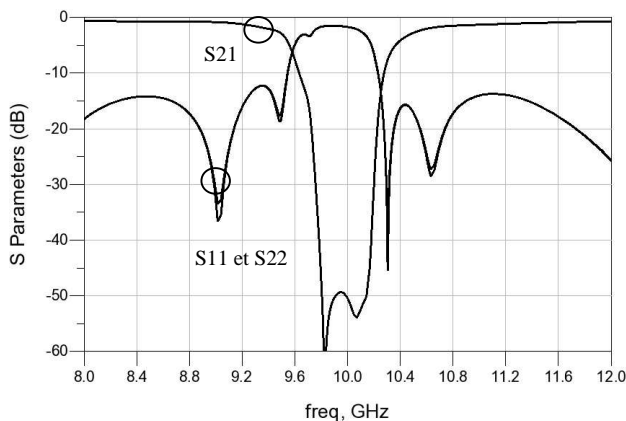


Figure 8. Simulation EM du filtre coupe-bande symétrique d'ordre 7

2.c. Optimisation EM

Durant la phase d'optimisation électromagnétique, la symétrie géométrique, si elle est respectée, permet non seulement de réduire le nombre de paramètres de réglage de 50 % mais également de conserver des paramètres de réflexion S11 et S22 identiques, qui sont donc optimisés simultanément. Ces deux effets combinés facilitent le réglage et réduisent le temps de la phase d'optimisation.

Comme le montre le masque sur la Figure 7, le filtre à été plié de façon à réduire son encombrement. La Figure 8 montre la réponse électrique issue de la simulation électromagnétique effectuée sous ADS Momentum ©. On y remarque que les paramètres S11 et S22 sont superposés.

2.d. Mesures

La Figure 9 montre une photographie du filtre et la Figure 10 illustre les mesures du filtre fabriqué. Celles-ci présentent un bon accord avec la simulation EM. Le niveau d'adaptation est constant du DC jusqu'à 18GHz. L'atténuation à la fréquence centrale est de 50 dB et le niveau d'adaptation est meilleur que 12 dB.

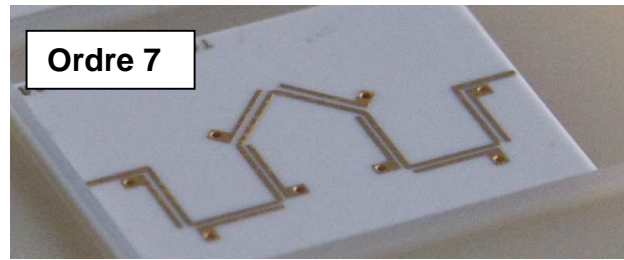


Figure 9. Photographie du filtre d'ordre 7 symétrique

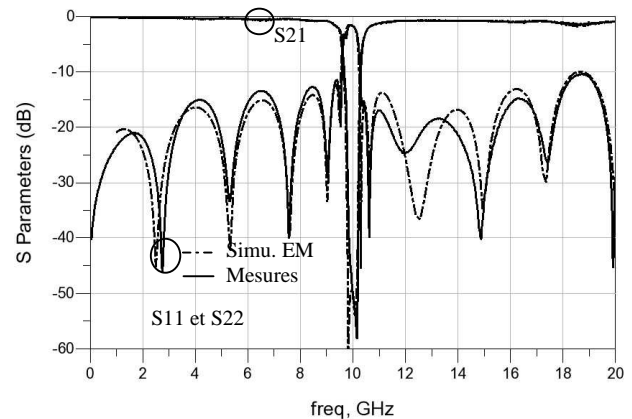


Figure 10. Simulation EM d'un filtre coupe-bande symétrique d'ordre 7

3. Conclusion

Une technique de symétrisation pour des filtres coupe-bandes à base de résonateurs à lignes couplées court-circuitées a été présentée dans ce papier. Symétriser le masque du filtre permet une adaptation simultanée des paramètres S11 et S22 et réduit par deux le nombre de paramètres d'optimisation. Par conséquent, cela implique une facilité et une rapidité de la phase d'optimisation électromagnétique. Ces bénéfices ont été démontrés lors de la conception d'un filtre d'ordre 7. Les mesures montrent une bonne concordance avec la simulation EM.

4. Bibliographie

- [1] Amari, S.; Rosenberg, U.; , "Direct synthesis of a new class of bandstop filters," Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on , vol.52, no.2, pp.
- [2] Won-Gyu Lim; Wan-Kyu Kim; Dong-Hoon Shin; Jong-Won Yu, "A novel bandstop filter design using parallel coupled line resonators," Microwave Conference, 2007. European , vol., no., pp.878,881, 9-12 Oct. 2007

- [3] Bell, H.C.; , "L-resonator bandstop filters," Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on , vol.44, no.12, pp.2669-2672, Dec 1996
- [4] Nizam, M.M.; Soh, P.J.; Suhaizal, A.H.M.; , "Design of a Modified L-shaped bandstop filter for UWB applications," Microwave and Optoelectronics
- [5] Won-Gyu Lim; Wan-Kyu Kim; Dong-Hoon Shin; Jong-Won Yu; , "A novel bandstop filter design using parallel coupled lineresonators," Microwave Conference, 2007. European , vol., no., pp.878-881, 9-12 Oct. 2007
- [6] [J.-S. Hong, Microstrip Filters For RF/Microwave Applications. New York: Wiley, 2011, ch6.
- [7] G.L. Matthaei, L. Young and E.M.T. Jones, "Microwave Filters, Impedance-Matching and Coupling Structures, New York: McGraw-Hill, 1964